



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109978866 A

(43)申请公布日 2019.07.05

(21)申请号 201910244847.7

(22)申请日 2019.03.28

(71)申请人 中国核电工程有限公司

地址 100840 北京市海淀区西三环北路117号

(72)发明人 袁平 李铁成 刘明 罗浩

(74)专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112

代理人 罗建民 杜丹丹

(51) Int. Cl.

G06T 7/00(2017.01)

G06T 7/62(2017.01)

G01N 21/88(2006.01)

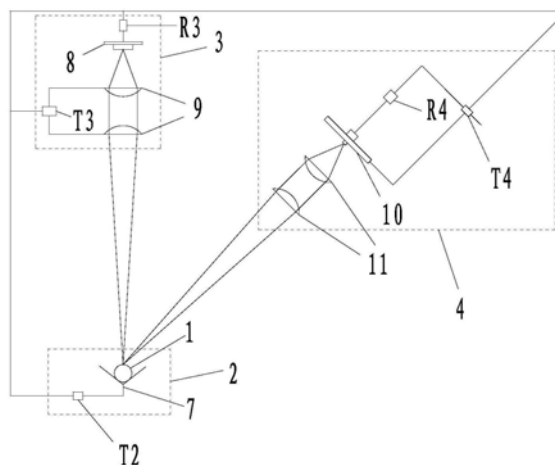
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

燃料芯块周面缺陷的在线检测装置和方法

(57)摘要

本发明提供一种燃料芯块周面缺陷的在线检测装置和方法。所述在线检测装置包括：芯块旋转单元，用于驱动燃料芯块绕其轴线匀速旋转；照明单元，用于向燃料芯块的周面发射单线条光束，并聚焦到燃料芯块周面的轴线上；图像采集单元，用于在燃料芯块旋转的过程中连续拍摄燃料芯块的周面，以得到多幅窄图像；图像处理单元，用于对所述多幅窄图像进行处理，以得到并输出燃料芯块的周面缺陷情况；控制单元，用于控制照明单元的开关、芯块旋转单元的启停与燃料芯块的转速，以及图像采集单元的拍摄。本发明能够自动、高效、高精度的用于MOX核燃料芯块周面缺陷面积的计算与判别，并不受MOX核燃料芯块周面反光性能和芯块制造工艺的影响。



1. 一种燃料芯块周面缺陷的在线检测装置,其特征在於,包括:芯块旋转单元、照明单元、图像采集单元、图像处理单元和控制单元;所述芯块旋转单元用于驱动燃料芯块绕其轴线匀速旋转;所述照明单元用于向燃料芯块的周面发射单线条光束,并聚焦到燃料芯块周面的轴线上;所述图像采集单元用于在燃料芯块旋转的过程中连续拍摄燃料芯块的周面,以得到多幅窄图像;所述图像处理单元用于对所述多幅窄图像进行处理,以得到并输出燃料芯块的周面缺陷情况;所述控制单元用于控制所述照明单元的开关、所述芯块旋转单元的启停与燃料芯块的转速,以及所述图像采集单元的拍摄。

2. 根据权利要求1所述的在线检测装置,其特征在於,所述图像处理单元包括:

判断模块,用于分别判断所述图像采集单元拍摄的各幅窄图像中是否存在线条,若每幅窄图像中都不存在线条,则判定图像中无燃料芯块,若至少部分窄图像中存在线条,则判定图像中有燃料芯块;以及,

输出模块,用于输出图像中有无燃料芯块的结论。

3. 根据权利要求2所述的在线检测装置,其特征在於,

若所述判断模块判定图像中有燃料芯块,则所述图像采集单元拍摄的窄图像具体为单线条窄图像;

所述图像处理单元还包括:

图像拼接模块,用于对所述图像采集单元拍摄的多幅单线条窄图像进行拼接以得到完整的周面图像;

缺陷区域提取模块,用于对所述周面图像进行处理以提取其中的缺陷区域;以及,

计算模块,用于计算各缺陷区域的数量和面积,及缺陷区域的面积总和占周面面积的比例;

所述输出模块还用于,输出所述计算模块的计算结果。

4. 根据权利要求3所述的在线检测装置,其特征在於,所述图像处理单元还包括:

预处理模块,用于分别对所述多幅单线条窄图像进行预处理,以剔除各幅单线条窄图像中对应于燃料芯块两端倒角处的边缘线条;

所述缺陷区域提取模块具体用于,对所述周面图像中的各线条单独进行处理以得到缺陷点坐标,再将邻近的缺陷点坐标依次连接以形成缺陷区域。

5. 根据权利要求4所述的在线检测装置,其特征在於,所述缺陷区域提取模块进一步具体用于,

获取所述周面图像中各线条的长度,统计出其中最长线条的长度作为基准长度,再将其余线条的长度分别与所述基准长度相比较,并结合线条的完整程度区分为完好线条和缺陷线条;

将任一完好线条作为基准线条,再将各缺陷线条分别与所述基准线条对比,以得出各缺陷线条中发生丢失、弯折及位移处的点坐标,作为缺陷点坐标;

将邻近的缺陷点坐标依次连接以形成缺陷区域。

6. 根据权利要求3所述的在线检测装置,其特征在於,

所述图像处理单元还包括:剔除模块,用于将所述计算模块得出的各缺陷区域的面积分别与预设面积阈值相比较,并将面积小于所述预设面积阈值的缺陷区域剔除。

7. 根据权利要求1-6中任一项所述的在线检测装置,其特征在於,所述图像采集单元拍

摄的窄图像的数量为50~80幅;所述照明单元发射的单线条光束的宽度范围为50 μ m~80 μ m。

8. 根据权利要求1-6中任一项所述的在线检测装置,其特征在于,所述芯块旋转单元包括:旋转装置及其调节机构;所述旋转装置用于驱动燃料芯块绕其轴线匀速旋转;所述旋转装置的调节机构用于调节燃料芯块的水平位置,以使其位于所述图像采集单元和所述照明单元的拍摄视场范围内。

9. 根据权利要求1-6中任一项所述的在线检测装置,其特征在于,所述图像采集单元包括:相机、镜头及相机调节机构;所述相机调节机构用于调节所述相机相对于燃料芯块的取向,以使得所述相机的拍摄方向与所述照明单元发射的单线条光束的方向相吻合。

10. 根据权利要求1-6中任一项所述的在线检测装置,其特征在于,所述照明单元包括:光源、镜头及光源调节机构;所述光源调节机构用于调节所述光源相对于燃料芯块的取向,以使得所述光源发射的单线条光束与燃料芯块的轴线相一致。

11. 根据权利要求1-6中任一项所述的在线检测装置,其特征在于,所述检测装置放置在手套箱内,并在手套箱内进行操作、维修和更换。

12. 一种燃料芯块周面缺陷的在线检测方法,其特征在于,包括如下步骤:

驱动燃料芯块绕其轴线匀速旋转,同时向燃料芯块的周面发射单线条光束,并聚焦到燃料芯块周面的轴线上;

在燃料芯块旋转的过程中连续拍摄燃料芯块的周面,以得到多幅窄图像;

对所述多幅窄图像进行处理,以得到并输出燃料芯块的周面缺陷情况。

13. 根据权利要求12所述的在线检测方法,其特征在于,在连续拍摄燃料芯块的周面之后,还包括如下步骤:

分别判断拍摄的各幅窄图像中是否存在线条,若每幅窄图像中都不存在线条,则判定图像中无燃料芯块,若至少部分窄图像中存在线条,则判定图像中有燃料芯块;

输出图像中是否有燃料芯块的结论。

14. 根据权利要求13所述的在线检测方法,其特征在于,

若判定图像中有燃料芯块,则拍摄的窄图像具体为单线条窄图像;

对多幅单线条窄图像进行处理,以得到并输出燃料芯块的周面缺陷情况的步骤具体为:

对多幅单线条窄图像进行拼接以得到完整的周面图像;

对所述周面图像进行处理以提取其中的缺陷区域;

计算各缺陷区域的数量和面积,及缺陷区域的面积总和占周面面积的比例;

输出计算结果。

15. 根据权利要求14所述的在线检测方法,其特征在于,

在对多幅单线条窄图像进行拼接的步骤之前,还包括如下步骤:

分别对所述多幅单线条窄图像进行预处理,以剔除各幅单线条窄图像中对应于燃料芯块两端倒角处的边缘线条;

对所述周面图像进行处理以提取其中的缺陷区域的步骤具体为:

对所述周面图像中的各线条单独进行处理以得到缺陷点坐标,再将邻近的缺陷点坐标依次连接以形成缺陷区域。

16. 根据权利要求15所述的在线检测方法,其特征在於,对所述周面图像中的各线条单独进行处理以得到缺陷点坐标的步骤具体为:

获取所述周面图像中各线条的长度,统计出其中最长线条的长度作为基准长度,再将其余线条的长度分别与所述基准长度相比较,并结合线条的完整程度区分为完好线条和缺陷线条;

将任一完好线条作为基准线条,再将各缺陷线条分别与所述基准线条对比,以得出各缺陷线条中发生丢失、弯折及位移处的点坐标,作为缺陷点坐标。

17. 根据权利要求14所述的在线检测方法,其特征在於,在计算出各缺陷区域的面积之后,还包括如下步骤:

将计算得出的各缺陷区域的面积分别与预设面积阈值相比较,并将面积小于所述预设面积阈值的缺陷区域剔除。

18. 根据权利要求12-17中任一项所述的在线检测方法,其特征在於,向燃料芯块的周面发射的单线条光束的宽度范围为 $50\mu\text{m}\sim 80\mu\text{m}$;拍摄燃料芯块的周面得到的窄图像的数量为50~80幅。

燃料芯块周面缺陷的在线检测装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及核燃料元件检测技术领域,具体涉及一种燃料芯块周面缺陷的在线检测装置,以及一种燃料芯块周面缺陷的在线检测方法。

背景技术

[0002] MOX核燃料芯块是以 UO_2 粉末和 PuO_2 粉末为原料,通过机械混合、压制和烧结而成的陶瓷体,作为核燃料被广泛用于压水堆和快堆中。

[0003] MOX核燃料芯块在制作过程中与制作完成后,由于烧结、转运等原因容易在芯块的基体上产生一些不规则的缺损。在反应堆运行期间,MOX核燃料芯块外观缺损的存在会引起燃料棒包壳受热不均,导致包壳破损,进而导致核事故的发生。正因为如此,在装管之前需要确保每一个MOX核燃料芯块的外观完整性满足其技术指标要求,因此必须对所有MOX核燃料芯块进行100%的外观缺损检查,以确保反应堆的安全运行。因此,对MOX核燃料芯块的周面缺陷检测是必要的。此外,MOX核燃料芯块相对压水堆的 UO_2 燃料芯块来说尺寸较小,因此对检测的精度要求更高。

[0004] 目前,国外的MOX核燃料芯块外观检测技术极大地依赖于芯块表面的反光性能,且其检测技术对芯块的制作工艺和尺寸规格有着较高的要求,因此对于表面反光性能较差以及尺寸规格公差较大的芯块不具有较好的识别能力。而国内核燃料领域的核燃料元件,一般由低富集度的 UO_2 燃料芯块组成,其辐射水平较低,内照射危害较小,因而主要采用人工检查的方式,效率低下。

[0005] 此外,由于MOX核燃料芯块的强放射性和Pu元素的剧毒性,整个检测装置必须安装在手套箱内,无法进行人工干预,这对检测装置的兼容性是极大的考验。而且,现有MOX核燃料芯块周面缺损检测的方案无法实现自动计算,且产能仅为5个/min,无法满足MOX核燃料芯块工业生产线的要求。

[0006] 因此,本领域亟需一种自动、高效、高精度的检测方案来完成MOX核燃料芯块周面缺损检测,同时该方案应不受MOX核燃料芯块周面反光性能和芯块制作工艺及尺寸规格的影响,而且兼容性好。

发明内容

[0007] 为了至少部分解决现有技术中存在的技术问题而完成了本发明。

[0008] 解决本发明技术问题所采用的技术方案是:

[0009] 本发明提供一种燃料芯块周面缺陷的在线检测装置,其包括:芯块旋转单元、照明单元、图像采集单元、图像处理单元和控制单元;所述芯块旋转单元用于驱动燃料芯块绕其轴线匀速旋转;所述照明单元用于向燃料芯块的周面发射单线条光束,并聚焦到燃料芯块周面的轴线上;所述图像采集单元用于在燃料芯块旋转的过程中连续拍摄燃料芯块的周面,以得到多幅窄图像;所述图像处理单元用于对所述多幅窄图像进行处理,以得到并输出燃料芯块的周面缺陷情况;所述控制单元用于控制所述照明单元的开关、所述芯块旋转单

元的启停与燃料芯块的转速,以及所述图像采集单元的拍摄。

[0010] 可选地,所述图像处理单元包括:

[0011] 判断模块,用于分别判断所述图像采集单元拍摄的各幅窄图像中是否存在线条,若每幅窄图像中都不存在线条,则判定图像中无燃料芯块,若至少部分窄图像中存在线条,则判定图像中有燃料芯块;以及,

[0012] 输出模块,用于输出图像中有无燃料芯块的结论。

[0013] 可选地,若所述判断模块判定图像中有燃料芯块,则所述图像采集单元拍摄的窄图像具体为单线条窄图像;

[0014] 所述图像处理单元还包括:

[0015] 图像拼接模块,用于对所述图像采集单元拍摄的多幅单线条窄图像进行拼接以得到完整的周面图像;

[0016] 缺陷区域提取模块,用于对所述周面图像进行处理以提取其中的缺陷区域;以及,

[0017] 计算模块,用于计算各缺陷区域的数量和面积,及缺陷区域的面积总和占周面面积的比例;

[0018] 所述输出模块还用于,输出所述计算模块的计算结果。

[0019] 可选地,所述图像处理单元还包括:

[0020] 预处理模块,用于分别对所述多幅单线条窄图像进行预处理,以剔除各幅单线条窄图像中对应于燃料芯块两端倒角处的边缘线条;

[0021] 所述缺陷区域提取模块具体用于,对所述周面图像中的各线条单独进行处理以得到缺陷点坐标,再将邻近的缺陷点坐标依次连接以形成缺陷区域。

[0022] 可选地,所述缺陷区域提取模块进一步具体用于,

[0023] 获取所述周面图像中各线条的长度,统计出其中最长线条的长度作为基准长度,再将其余线条的长度分别与所述基准长度相比较,并结合线条的完整程度区分为完好线条和缺陷线条;

[0024] 将任一完好线条作为基准线条,再将各缺陷线条分别与所述基准线条对比,以得出各缺陷线条中发生丢失、弯折及位移处的点坐标,作为缺陷点坐标;

[0025] 将邻近的缺陷点坐标依次连接以形成缺陷区域。

[0026] 可选地,所述图像处理单元还包括:剔除模块,用于将所述计算模块得出的各缺陷区域的面积分别与预设面积阈值相比较,并将面积小于所述预设面积阈值的缺陷区域剔除。

[0027] 可选地,所述图像采集单元拍摄的窄图像的数量为50~80幅;所述照明单元发射的单线条光束的宽度范围为 $50\mu\text{m}$ ~ $80\mu\text{m}$ 。

[0028] 可选地,所述芯块旋转单元包括:旋转装置及其调节机构;所述旋转装置用于驱动燃料芯块绕其轴线匀速旋转;所述旋转装置的调节机构用于调节燃料芯块的水平位置,以使其位于所述图像采集单元和所述照明单元的拍摄视场范围内。

[0029] 可选地,所述图像采集单元包括:相机、镜头及相机调节机构;所述相机调节机构用于调节所述相机相对于燃料芯块的取向,以使得所述相机的拍摄方向与所述照明单元发射的单线条光束的方向相吻合。

[0030] 可选地,所述照明单元包括:光源、镜头及光源调节机构;所述光源调节机构用于

调节所述光源相对于燃料芯块的取向,以使得所述光源发射的单线条光束与燃料芯块的轴线相一致。

[0031] 可选地,所述检测装置放置在手套箱内,并在手套箱内进行操作、维修和更换。

[0032] 本发明还提供一种燃料芯块周面缺陷的在线检测方法,其包括如下步骤:

[0033] 驱动燃料芯块绕其轴线匀速旋转,同时向燃料芯块的周面发射单线条光束,并聚焦到燃料芯块周面的轴线上;

[0034] 在燃料芯块旋转的过程中连续拍摄燃料芯块的周面,以得到多幅窄图像;

[0035] 对所述多幅窄图像进行处理,以得到并输出燃料芯块的周面缺陷情况。

[0036] 可选地,在连续拍摄燃料芯块的周面之后,还包括如下步骤:

[0037] 分别判断拍摄的各幅窄图像中是否存在线条,若每幅窄图像中都不存在线条,则判定图像中无燃料芯块,若至少部分窄图像中存在线条,则判定图像中有燃料芯块;

[0038] 输出图像中有无燃料芯块的结论。

[0039] 可选地,若判定图像中有燃料芯块,则拍摄的窄图像具体为单线条窄图像;

[0040] 对多幅单线条窄图像进行处理,以得到并输出燃料芯块的周面缺陷情况的步骤具体为:

[0041] 对多幅单线条窄图像进行拼接以得到完整的周面图像;

[0042] 对所述周面图像进行处理以提取其中的缺陷区域;

[0043] 计算各缺陷区域的数量和面积,及缺陷区域的面积总和占周面面积的比例;

[0044] 输出计算结果。

[0045] 可选地,在对多幅单线条窄图像进行拼接的步骤之前,还包括如下步骤:

[0046] 分别对所述多幅单线条窄图像进行预处理,以剔除各幅单线条窄图像中对应于燃料芯块两端倒角处的边缘线条;

[0047] 对所述周面图像进行处理以提取其中的缺陷区域的步骤具体为:

[0048] 对所述周面图像中的各线条单独进行处理以得到缺陷点坐标,再将邻近的缺陷点坐标依次连接以形成缺陷区域。

[0049] 可选地,对所述周面图像中的各线条单独进行处理以得到缺陷点坐标的步骤具体为:

[0050] 获取所述周面图像中各线条的长度,统计出其中最长线条的长度作为基准长度,再将其余线条的长度分别与所述基准长度相比较,并结合线条的完整程度区分为完好线条和缺陷线条;

[0051] 将任一完好线条作为基准线条,再将各缺陷线条分别与所述基准线条对比,以得出各缺陷线条中发生丢失、弯折及位移处的点坐标,作为缺陷点坐标。

[0052] 可选地,在计算出各缺陷区域的面积之后,还包括如下步骤:

[0053] 将计算得出的各缺陷区域的面积分别与预设面积阈值相比较,并将面积小于所述预设面积阈值的缺陷区域剔除。

[0054] 可选地,向燃料芯块的周面发射的单线条光束的宽度范围为 $50\mu\text{m}\sim 80\mu\text{m}$;拍摄燃料芯块的周面得到的窄图像的数量为 $50\sim 80$ 幅。

[0055] 有益效果:

[0056] 本发明所述燃料芯块周面缺陷的在线检测装置和方法能够自动、高效、高精度的

用于MOX核燃料芯块周面缺损面积的计算与判别,并不受MOX核燃料芯块周面反光性能和芯块制造工艺的影响。

[0057] 经现场实际测试结果表明,本发明对MOX核燃料芯块周面缺损面积比的检测精度为0.1%,检测速度不低于40个/min,且能自动计算出缺损面积,还可根据技术指标给出芯块是否合格的判定结论。

附图说明

[0058] 图1为本发明实施例1提供的燃料芯块周面缺陷的在线检测装置的局部结构示意图;

[0059] 图2为本发明实施例1提供的燃料芯块周面缺陷的在线检测装置的全部结构示意图;

[0060] 图3为图2中图像处理单元的结构示意图;

[0061] 图4为本发明实施例2提供的燃料芯块周面缺陷的在线检测方法的流程图之一;

[0062] 图5为本发明实施例2提供的燃料芯块周面缺陷的在线检测方法的流程图之二。

[0063] 图中:1—燃料芯块;2—芯块旋转单元;3—图像采集单元;4—照明单元;5—控制单元;6—图像处理单元;601—预处理模块;602—图像拼接模块;603—缺陷区域提取模块;604—计算模块;605—输出模块;606—剔除模块;607—判断模块;7—旋转装置;T2—旋转装置调节机构;8—相机;9—镜头;R3、T3—相机调节机构;10—光源;11—镜头;R4、T4—光源调节机构。

具体实施方式

[0064] 为使本领域技术人员更好地理解本发明的技术方案,下面结合附图和实施例对本发明作进一步详细描述。

[0065] 实施例1:

[0066] 本实施例提供一种燃料芯块周面缺陷的在线检测装置(即在线检测燃料芯块周面缺陷的装置),适用于各种类型的燃料芯块的周面缺陷检测,尤其适用于MOX核燃料芯块的周面缺陷检测。

[0067] 如图1和图2所示,所述在线检测装置包括:芯块旋转单元2、照明单元4、图像采集单元3、图像处理单元6和控制单元5。

[0068] 芯块旋转单元2用于驱动燃料芯块1绕其轴线匀速旋转,以保证燃料芯块周面的完整图像采集。照明单元4用于向燃料芯块1的周面发射单线条光束,并聚焦到燃料芯块周面的轴线上。图像采集单元3用于在燃料芯块1旋转的过程中连续拍摄燃料芯块1的周面,以得到多幅窄图像,并传输给图像处理单元6。图像处理单元6用于对所述多幅窄图像进行处理,以得到并输出燃料芯块1的周面缺陷情况。当然,在图像采集单元3连续拍摄的过程中,照明单元4应持续开启并提供所需单线条光束。

[0069] 其中,图像采集单元3拍摄的窄图像的数量需根据检测精度的要求来确定,但必须能反应出燃料芯块1的整个周面的信息,本实施例中窄图像的数量优选为50~80幅。照明单元4发射的单线条光束的宽度范围优选为50 μ m~80 μ m,更优选为50 μ m。

[0070] 控制单元5用于控制照明单元4的开关、芯块旋转单元2的启停与燃料芯块1的转

速,以及图像采集单元3的拍摄(如拍摄时长和相邻两次拍摄间隔),换言之,控制单元5在整个检测装置运行过程中对芯块旋转单元2、图像采集单元3、照明单元4的运行和开关进行统一控制与配合,实现对燃料芯块1周面图像的完整采集。

[0071] 本实施例中,芯块旋转单元2保证了燃料芯块绕其轴进行自转;控制单元5保证了在燃料芯块自转的过程中图像采集单元3和照明单元4对燃料芯块完整周面的窄图像的采集。所述在线检测装置基于结构光的检测原理,使其应用的检测方法不受MOX核燃料芯块周面反光性能和芯块制造工艺的影响。

[0072] 如图3所示,图像处理单元6具体包括:

[0073] 判断模块607,用于分别判断图像采集单元3拍摄的各幅窄图像中是否存在线条,若每幅窄图像中都不存在线条,则判定图像中无燃料芯块,若至少部分窄图像中存在线条,则判定图像中有燃料芯块;

[0074] 输出模块605,用于输出图像中有无燃料芯块的结论。

[0075] 本实施例中,若判断模块607判定图像中有燃料芯块,则图像采集单元3拍摄的窄图像具体为单线条窄图像。

[0076] 如图3所示,图像处理单元6还包括:

[0077] 图像拼接模块602,用于对图像采集单元3拍摄的多幅单线条窄图像进行拼接以得到完整的周面图像;

[0078] 缺陷区域提取模块603,用于对周面图像进行处理以提取其中的缺陷区域;

[0079] 计算模块604,用于计算各缺陷区域的数量和面积,及缺陷区域的面积总和占周面面积的比例(即燃料芯块周面缺损面积比)。除此之外,计算模块604还能根据技术指标与燃料芯块周面缺损面积比给出燃料芯块是否合格的判定结论,例如,燃料芯块周面缺损面积比超过某一设定值,即可判断该燃料芯块不合格。

[0080] 相应地,输出模块605还用于,输出计算模块604的计算结果。

[0081] 如图3所示,图像处理单元6还包括:

[0082] 预处理模块601,用于分别对所述多幅单线条窄图像进行预处理,以剔除各幅单线条窄图像中对应于燃料芯块两端倒角处的边缘线条。

[0083] 图像处理单元6中的缺陷区域提取模块603具体用于,对周面图像中的各线条单独进行处理以得到缺陷点坐标,再将邻近的缺陷点坐标依次连接以形成缺陷区域。

[0084] 本实施例中,缺陷区域提取模块603进一步具体用于,

[0085] 获取周面图像中各线条的长度,统计出其中最长线条的长度作为基准长度,再将其余线条的长度分别与基准长度相比较,并结合线条的完整程度区分为完好线条和缺陷线条;

[0086] 将任一完好线条作为基准线条,再将各缺陷线条分别与基准线条对比,以得出各缺陷线条中发生丢失、弯折及位移处的点坐标,作为缺陷点坐标;

[0087] 将邻近的缺陷点坐标依次连接以形成缺陷区域。

[0088] 如图3所示,图像处理单元6还包括:剔除模块606,用于将计算模块604得出的各缺陷区域的面积分别与预设面积阈值相比较,并将面积小于预设面积阈值的缺陷区域剔除。至于所述预设面积阈值的具体取值,可由本领域技术人员根据实际情况来设定。

[0089] 可见,图像处理单元6先将图像采集单元3拍摄的多幅窄图像进行预处理,然后拼

接成一幅完整的周面图像,并对拼接后的图像进行一系列分析、处理和计算,得出燃料芯块的周面缺损面积,最终根据缺损面积对燃料芯块进行分类并输出判别结论和计算结果。

[0090] 具体地,图像处理单元6的工作流程如下:

[0091] (1) 检测装置的初始化

[0092] 芯块旋转单元2与图像采集单元3处于待机状态,照明单元4处于关闭状态。

[0093] (2) 实施测量

[0094] 待测燃料芯块1上料至于芯块旋转单元2上,并保证燃料芯块1定位于图像采集单元3的视场范围内。

[0095] 燃料芯块1到位后,照明单元4开启。控制单元5控制芯块旋转单元2带动燃料芯块1进行匀速旋转,同时图像采集单元3配合燃料芯块1的转速采集燃料芯块完整周面的多幅单线条窄图像。采集完成后将多幅单线条窄图像数据传输至图像处理单元6。

[0096] 由图像处理单元6对上述采集到的多幅单线条窄图像进行预处理,然后进行图像拼接与再处理计算。该燃料芯块1的周面缺损面积测量结论由图像处理单元6在下一燃料芯块的测量前给出。

[0097] (3) 图像处理单元6得出燃料芯块周面缺损面积的计算程序

[0098] 示例性的燃料芯块周面缺损面积计算流程具体包括如下程序:

[0099] 1) 将拍摄到的所有单线条窄图像拼接成一幅完整的周面图像。

[0100] 2) 对周面图像中各线条分别进行处理,以提取出线条信息,统计出最长线条的长度作为基准长度,并根据图像中线条的有无来判断图像中有无芯块;

[0101] 3) 将其余线条的长度分别与基准长度相比较,并结合线条的完整程度区分为完好线条和缺陷线条,将任一完好线条作为基准线条,再将各缺陷线条分别与基准线条对比(基准线条相当于缺陷线条的中心线),以得出各缺陷线条中发生丢失、弯折及位移部分。

[0102] 4) 将相邻缺陷线条中发生丢失、弯折和位移部分整合到一起,得出周面图像中的缺陷部分。

[0103] 5) 把缺陷部分在周面图像中标识出来,再连通成缺陷区域,并剔除面积较小的缺陷区域,计算缺陷区域的数量与缺陷区域面积之和占芯块周面面积的比例。

[0104] 6) 输出图像中芯块有无的结论。如果结论为有,则输出缺陷区域的数量与缺陷区域面积之和占芯块周面面积的比例。

[0105] 此外,如图1所示,芯块旋转单元具体包括:旋转装置7及其调节机构T2。

[0106] 旋转装置7用于在控制单元5的控制下驱动燃料芯块1绕其轴线匀速旋转。旋转装置的调节机构T2用于调节燃料芯块1的水平位置,以使其位于图像采集单元3和照明单元4的拍摄视场范围内。旋转装置的调节机构T2还用于,在所述在线检测装置安装调试过程中调节旋转装置7的水平位置。

[0107] 如图1所示,图像采集单元3具体包括:相机8、镜头9及相机调节机构R3和T3。相机8与镜头9彼此连接。相机调节机构R3和T3与相机8和镜头9整体相连接。其中,相机8可采用工业面阵相机,镜头9可采用工业镜头。

[0108] 相机8与镜头9相配合,在控制单元5的控制下,连续拍摄燃料芯块的周面,以得到多幅窄图像,且拍摄的窄图像总数应能反映出燃料芯块的整个周面信息。

[0109] 相机调节机构R3和T3用于调节相机8相对于燃料芯块1的取向,以使得相机8的拍

摄方向与照明单元4发射的单线条光束的方向相吻合。具体地,相机调节机构T3用于在所述在线检测装置安装调试过程中调节相机8与镜头9整体相对于燃料芯块1的水平位置;相机调节机构R3用于在所述在线检测装置安装调试过程中调节相机8与镜头9的工作距离和工作角度。

[0110] 如图1所示,照明单元4具体包括:光源10、镜头11及光源调节机构R4和T4。光源10与镜头11彼此连接。光源调节机构R4和T4与光源10和镜头11整体相连接。其中,镜头11可采用工业镜头。

[0111] 光源10与镜头11相配合,用于提供单线条光束照明,并使单线条光束聚焦在燃料芯块周面的轴线上。

[0112] 光源调节机构R4和T4用于调节光源10相对于燃料芯块1的取向,以使得光源10发射的单线条光束与燃料芯块1的轴线相一致。具体地,光源调节机构T4用于在所述在线检测装置安装调试过程中调节光源10与镜头11整体相对于燃料芯块1的横向位置,光源调节机构R4用于在所述在线检测装置安装调试过程中调节光源10与镜头11的工作距离和工作角度。

[0113] 本实施例中,所述在线检测装置可以设计为模块化的检测装置,并可放置在手套箱内,在手套箱内进行操作、维修和更换。

[0114] 可见,本实施例所述燃料芯块周面缺陷的在线检测装置能够自动、高效、高精度的用于MOX核燃料芯块周面缺损面积的计算与判别,并不受MOX核燃料芯块周面反光性能和芯块制造工艺的影响。

[0115] 实施例2:

[0116] 本实施例提供一种燃料芯块周面缺陷的在线检测方法(即在线检测燃料芯块周面缺陷的方法),适用于各种类型的燃料芯块的周面缺陷检测,尤其适用于MOX核燃料芯块的周面缺陷检测。

[0117] 如图4所示,作为本实施例的一种具体实施方式,所述在线检测方法包括如下步骤S101至S103。

[0118] S101. 驱动燃料芯块绕其轴线匀速旋转,同时向燃料芯块的周面发射单线条光束,并聚焦到燃料芯块周面的轴线上;单线条光束的宽度范围为 $50\mu\text{m}\sim 80\mu\text{m}$;

[0119] S102. 在燃料芯块旋转的过程中连续拍摄燃料芯块的周面,以得到多幅窄图像;窄图像的数量需根据检测精度的要求来确定,但必须能反应出燃料芯块的整个周面的信息,所述窄图像的数量优选为50~80幅;

[0120] S103. 对所述多幅窄图像进行处理,以得到并输出燃料芯块的周面缺陷情况。

[0121] 本实施例中,所述在线检测方法基于结构光的检测原理,使该检测方法不受MOX核燃料芯块周面反光性能和芯块制造工艺的影响。

[0122] 在步骤S102与步骤S103之间,还包括如下步骤A和B。

[0123] A. 分别判断拍摄的各幅窄图像中是否存在线条,若每幅窄图像中都不存在线条,则判定图像中无燃料芯块,若至少部分窄图像中存在线条,则判定图像中有燃料芯块;

[0124] B. 输出图像中有无燃料芯块的结论。

[0125] 本实施例中,若判定图像中有燃料芯块,则拍摄的窄图像具体为单线条窄图像。

[0126] 步骤S103具体包括如下步骤S103-1至S103-4。

- [0127] S103-1.对多幅单线条窄图像进行拼接以得到完整的周面图像;
- [0128] S103-2.对周面图像进行处理以提取其中的缺陷区域;
- [0129] S103-3.计算各缺陷区域的数量和面积,及缺陷区域的面积总和占周面面积的比例(即燃料芯块周面缺损面积比);
- [0130] S103-4.输出计算结果。
- [0131] 此外,在步骤S103-3中,还能根据技术指标与燃料芯块周面缺损面积比给出燃料芯块是否合格的判定结论,例如,燃料芯块周面缺损面积比超过某一设定值,即可判断该燃料芯块不合格。
- [0132] 在步骤S103-1之前,还包括如下步骤S103-0。
- [0133] S103-0.分别对所述多幅单线条窄图像进行预处理,以剔除各幅单线条窄图像中对应于燃料芯块两端倒角处的边缘线条。
- [0134] 步骤S103-2具体为:对所述周面图像中的各线条单独进行处理以得到缺陷点坐标,再将邻近的缺陷点坐标依次连接以形成缺陷区域。
- [0135] 该步骤可进一步分为如下步骤S103-21至S103-23。
- [0136] S103-21.获取周面图像中各线条的长度,统计出其中最长线条的长度作为基准长度,再将其余线条的长度分别与基准长度相比较,并结合线条的完整程度区分为完好线条和缺陷线条;
- [0137] S103-22.将任一完好线条作为基准线条,再将各缺陷线条分别与基准线条对比,以得出各缺陷线条中发生丢失、弯折及位移处的点坐标,作为缺陷点坐标;
- [0138] S103-23.将邻近的缺陷点坐标依次连接以形成缺陷区域。
- [0139] 在步骤S103-3中,计算出各缺陷区域的面积之后,还包括如下步骤S103-31。
- [0140] S103-31.将计算得出的各缺陷区域的面积分别与预设面积阈值相比较,并将面积小于预设面积阈值的缺陷区域剔除。至于所述预设面积阈值的具体取值,可由本领域技术人员根据实际情况来设定。
- [0141] 如图5所示,作为本实施例的另一种具体实施方式,所述在线检测方法包括如下步骤S201至S214。
- [0142] S201.驱动燃料芯块绕其轴线匀速旋转,同时向燃料芯块的周面发射单线条光束,并聚焦到燃料芯块周面的轴线上;
- [0143] S202.在燃料芯块旋转的过程中连续拍摄燃料芯块的周面,以得到多幅窄图像;
- [0144] S203.分别判断拍摄的各幅窄图像中是否存在线条,若每幅窄图像中都不存在线条,则执行步骤S204,若至少部分窄图像中存在线条,则执行步骤S205;
- [0145] S204.判定图像中无燃料芯块,并输出图像中无燃料芯块的结论,检测过程结束;
- [0146] S205.判定图像中有燃料芯块,并输出图像中有燃料芯块的结论;相应地,步骤S202中拍摄的窄图像即单线条窄图像;
- [0147] S206.分别对多幅单线条窄图像进行预处理,以剔除各幅单线条窄图像中对应于燃料芯块两端倒角处的边缘线条;
- [0148] S207.对预处理后的多幅单线条窄图像进行拼接以得到完整的周面图像;
- [0149] S208.获取周面图像中各线条的长度,统计出其中最长线条的长度作为基准长度,再将其余线条的长度分别与基准长度相比较,并结合线条的完整程度区分为完好线条和缺

陷线条；

[0150] S209. 将任一完好线条作为基准线条，再将各缺陷线条分别与基准线条对比，以得出各缺陷线条中发生丢失、弯折及位移处的点坐标，作为缺陷点坐标；

[0151] S210. 将邻近的缺陷点坐标依次连接以形成缺陷区域；

[0152] S211. 计算各缺陷区域的面积，将计算得出的各缺陷区域的面积分别与预设面积阈值相比较，并将面积小于预设面积阈值的缺陷区域剔除；

[0153] S212. 计算剩余缺陷区域的数量，及剩余缺陷区域的面积总和占周面面积的比例（即燃料芯块周面缺损面积比）；

[0154] S213. 根据技术指标与燃料芯块周面缺损面积比给出燃料芯块是否合格的判定结论；

[0155] S214. 输出计算结果和燃料芯块是否合格的判定结论，检测过程结束。

[0156] 可见，本实施例所述燃料芯块周面缺陷的在线检测方法能够自动、高效、高精度的用于MOX核燃料芯块周面缺损面积的计算与判别，并不受MOX核燃料芯块周面反光性能和芯块制造工艺的影响。

[0157] 可以理解的是，以上实施方式仅仅是为了说明本发明的原理而采用的示例性实施方式，然而本发明并不局限于此。对于本领域内的普通技术人员而言，在不脱离本发明的精神和实质的情况下，可以做出各种变型和改进，这些变型和改进也视为本发明的保护范围。

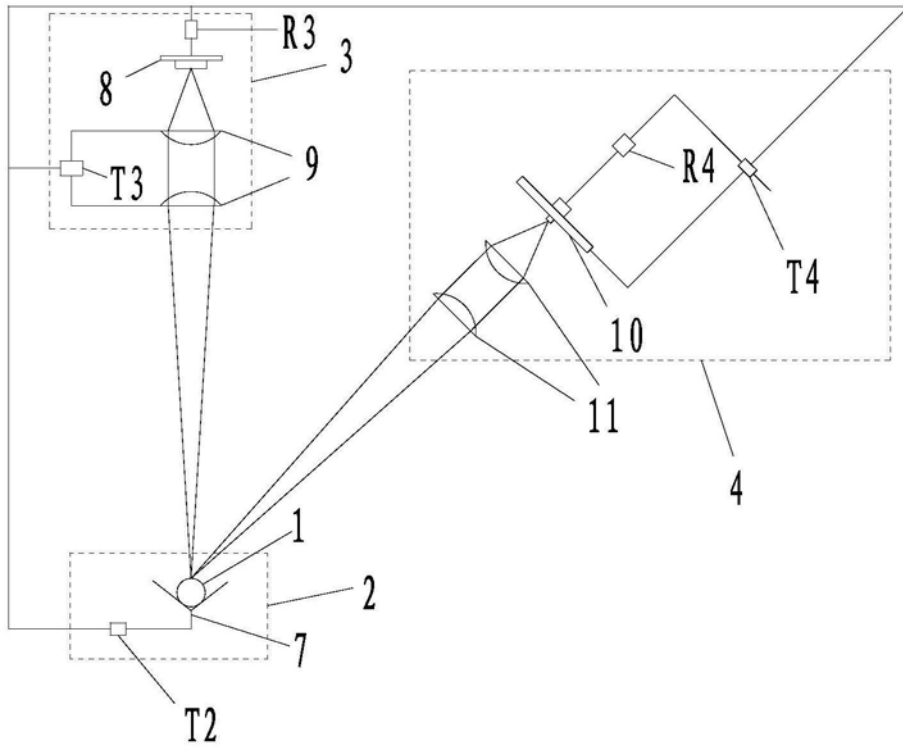


图1

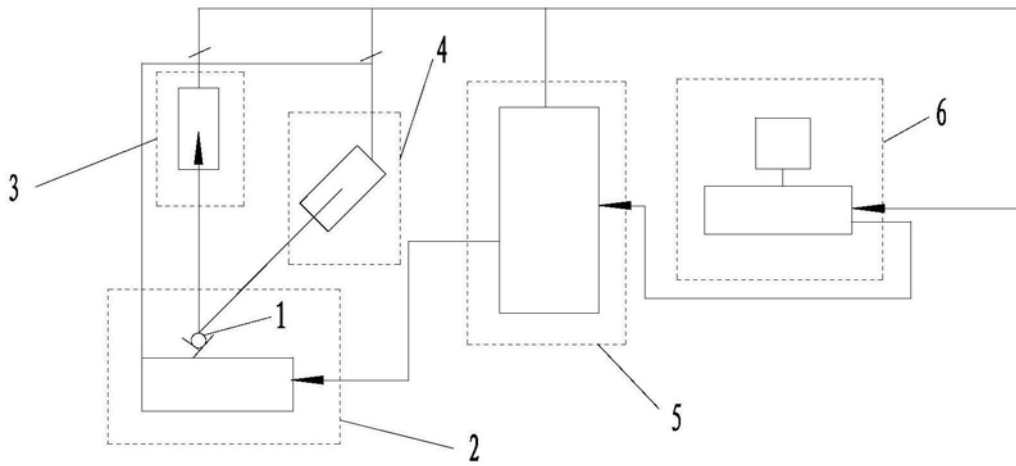


图2

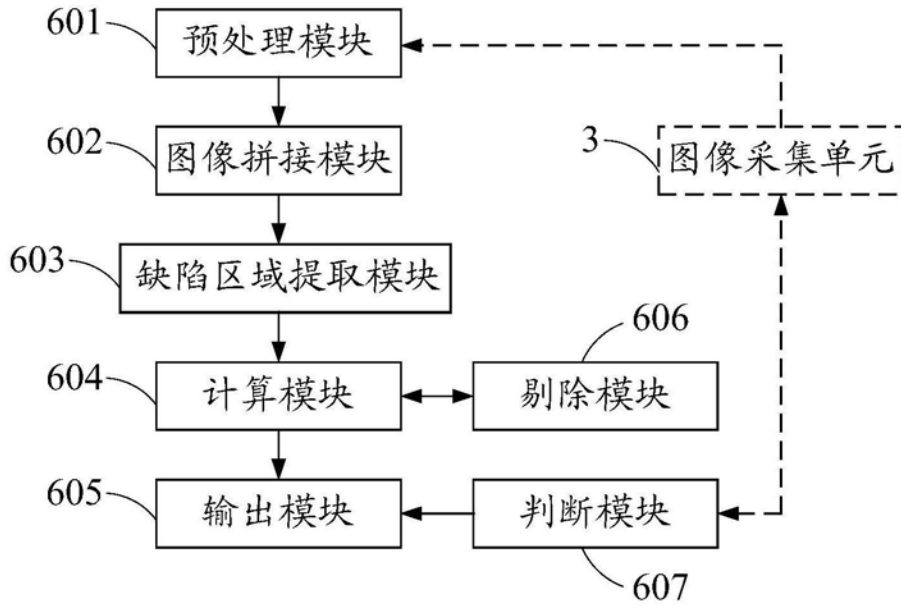


图3

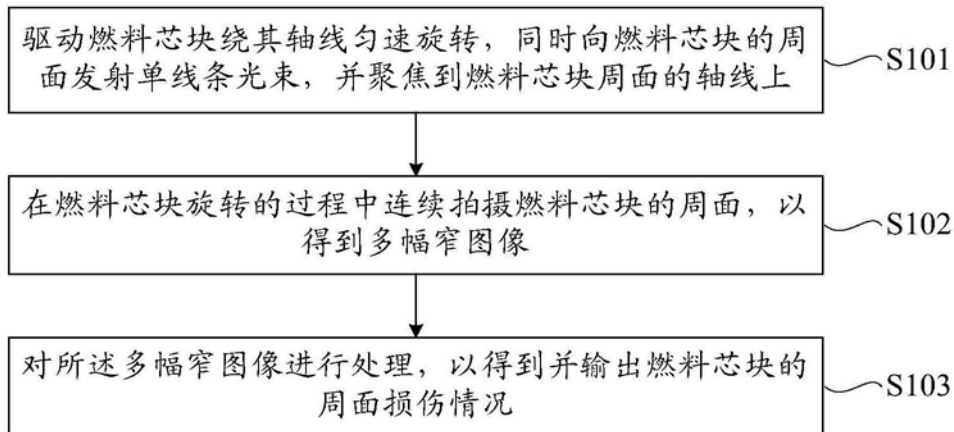


图4

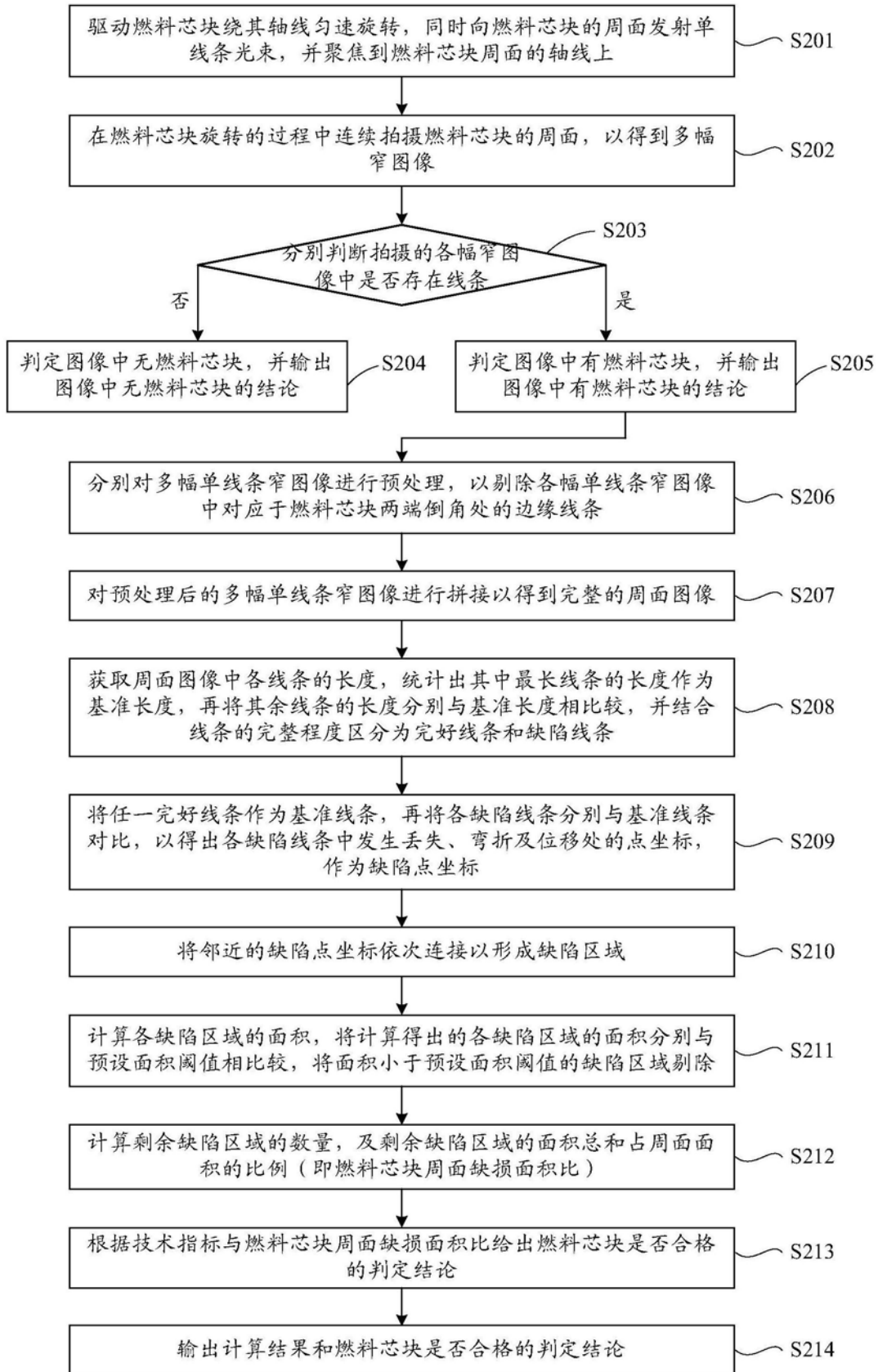


图5